

Tata cara penentuan gradasi bahan filter pelindung pada bendungan tipe urugan





© BSN 2012

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN
Gd. Manggala Wanabakti
Blok IV, Lt. 3,4,7,10.
Telp. +6221-5747043
Fax. +6221-5747045
Email: dokinfo@bsn.go.id
www.bsn.go.id

Diterbitkan di Jakarta

Daftar isi

Daftar isi.....	i
Prakata	ii
Pendahuluan.....	iii
1 Ruang lingkup.....	1
2 Acuan normatif.....	1
3 Istilah dan definisi	1
4 Fungsi dan persyaratan	3
5 Tata cara penentuan gradasi bahan filter pelindung pada bendungan tipe urugan	3
Lampiran A (informatif)	12
Lampiran B (informatif)	13
Lampiran C (normatif).....	16
Lampiran D (informatif).....	17
Lampiran E (informatif)	18
Bibliografi	18

Prakata

Tata cara penentuan gradasi bahan filter pelindung pada bendungan tipe urugan ini dimaksudkan untuk mendapatkan/memperoleh bahan pembuat filter yang tepat guna pembuatan filter pada bendungan urugan agar dapat dilaksanakan dengan baik, aman, dan berfungsi dengan semestinya. Selain itu, bahan pembuat filter ini berguna untuk melindungi bagian atau zone-zone urugan yang tersusun oleh material tanah agar keamanan bendungan urugan dapat terpelihara dengan baik.

Penulisan standar ini mengacu kepada PSN 08:2007 telah melalui Rapat Konsensus ulang pada November 2011 pada di Pusat Litbang Sumber Daya Air Bandung pada Panitia Teknis 91-01-S1 Sumber Daya Air yang melibatkan para nara sumber dan pakar dari berbagai instansi terkait.



Pendahuluan

Filter (yang lebih tepat disebut sebagai “urugan filter”) merupakan bagian penting dari bendungan tipe urugan. Filter yang dibuat dengan tata cara atau bahan yang tidak tepat akan membahayakan tubuh bendungan. Tentu saja dapat membahayakan keamanan bendungan secara keseluruhan (dapat menimbulkan korban jiwa ataupun kerugian materiil dan moril yang cukup banyak).

Tata cara penentuan gradasi pasir dan kerikil sebagai filter pada bendungan tipe urugan ini disusun untuk menjadi standar dalam tata cara penentuan gradasi pasir dan kerikil untuk pembuatan filter secara tepat (termasuk pemilihan bahan filternya), yang merupakan bagian vital dari bendungan tipe urugan (*fill type dam*).

Acuan-acuan yang tersebut dalam daftar acuan walaupun bukan acuan utama tetapi merupakan sumber masukan yang penting bagi kelengkapan standar tentang bendungan tipe urugan. Demikian pula pustaka yang disebutkan dalam Bibliografi merupakan sumber yang penting guna melengkapi NSPM bendungan tipe urugan di Indonesia.



Tata cara penentuan gradasi bahan filter pelindung pada bendungan tipe urugan

1 Ruang lingkup

Standar ini dimaksudkan untuk menguraikan ketentuan tentang gradasi bahan filter pelindung yang tepat guna pembuatan filter dari bahan alami pada bendungan urugan, atau yang disiapkan dari bahan alami (misal: batuan) dengan cara penghancuran, pengayakan, uji gradasi dan pencampuran, guna melindungi bagian atau zone urugan yang tersusun oleh material tanah, agar keamanan bendungan urugan tersebut dapat terpelihara dengan baik.

Bahan filter pelindung yang terbuat dari kain tenun buatan pabrik maupun geotekstil pada umumnya tidak termasuk dalam ruang lingkup uraian dari tata cara ini. Standar tentang bahan filter yang terbuat dari geotekstil disusun dalam konsep standar tersendiri.

Standar ini mencakup kriteria ukuran butir klasik D_{15} dan D_{85} dari tanah dasar dan bahan filter.

2 Acuan normatif

SNI 1731, *Tata cara pedoman keamanan bendungan.*

3 Istilah dan definisi

3.1

Bendungan urugan

penahan buatan tipe urugan, yang menampung air atau dapat menampung air baik secara alamiah maupun buatan, termasuk fondasi, bukit atau tebing tumpuan, serta bangunan pelengkap dan peralatannya; dalam definisi ini termasuk pula bendungan limbah galian, serta bendungan penutup aliran sungai, tetapi tanggul tidak tercakup dalam definisi ini.

3.2

Urugan filter pelindung

komponen penampang bendungan urugan yang mempunyai inti bendungan, yang terdiri atas beberapa lapisan material yang lulus air ataupun semi lulus air, yang berfungsi sebagai drainase dan juga untuk mencegah terjadinya migrasi partikel tanah (yang dilindungi oleh urugan filter pelindung itu) akibat adanya aliran air.

3.3

Tanah (material) dasar

adalah tanah dasar yang dilindungi dengan filter pelindung dan yang dialirkan airnya ke luar dari dalam tanah tersebut dengan filter-drainase.

3.4

Diameter butir material

diameter butir pada kurva gradasi material dalam mm.

D_{10} = Diameter butir pada kurva gradasi material dalam mm, yang 10% dari seluruh berat material itu lolos dari saringan yang digunakan, dan ditetapkan dengan analisis ukuran butir.

D_{60} = Diameter butir pada kurva gradasi material dalam mm, yang 60% dari seluruh berat material itu lolos dari saringan yang digunakan, dan ditetapkan dengan analisis ukuran butir.

3.5

Diameter butir tanah dasar

diameter butir pada kurva gradasi tanah dasar (B) dalam mm.

D_{15B} = Diameter butir pada kurva gradasi tanah dasar (B) dalam mm, yang 15% dari keseluruhan berat tanah itu lolos dari saringan yang digunakan, dan ditetapkan dengan analisis ukuran butir.

D_{50B} = Diameter butir pada kurva gradasi tanah dasar (B) dalam mm, yang 50% dari keseluruhan berat tanah itu lolos dari saringan yang digunakan, dan ditetapkan dengan analisis ukuran butir.

D_{85B} = Diameter butir pada kurva gradasi tanah dasar (B) dalam mm, yang 85% dari keseluruhan berat tanah itu lolos dari saringan yang digunakan, dan ditetapkan dengan analisis ukuran butir.

3.6

Diameter butir bahan filter

diameter butir pada kurva gradasi bahan filter (F) dalam mm.

D_{10F} = Diameter butir pada kurva gradasi bahan filter (F) dalam mm, yang 10% dari keseluruhan berat bahan filter itu lolos dari saringan yang digunakan, dan ditetapkan dengan analisis ukuran butir.

D_{15F} = Diameter butir pada kurva gradasi bahan filter (F) dalam mm, yang 15% dari keseluruhan berat bahan filter itu lolos dari saringan yang digunakan, dan ditetapkan dengan analisis ukuran butir.

D_{50F} = Diameter butir pada kurva gradasi bahan filter (F) dalam mm, yang 50% dari keseluruhan berat bahan filter itu lolos dari saringan yang digunakan, dan ditetapkan dengan analisis ukuran butir.

D_{90F} = Diameter butir pada kurva gradasi bahan filter (F) dalam mm, yang 90% dari keseluruhan berat bahan filter itu lolos dari saringan yang digunakan, dan ditetapkan dengan analisis ukuran butir.

3.7

Drainase conduit ataupun saluran terbuka/tertutup pada bendungan urugan, tempat tersalurkannya air permukaan ataupun air bawah permukaan yang berlebihan ke luar dari bendungan urugan tersebut

3.8

Kekosongan gradasi (*gap grading*)

patahnya kurva gradasi secara tajam yang mengindikasikan tidak adanya ukuran butir material tertentu

3.9

Koefisien keseragaman

(*Coefficient of Uniformity*) = $C_u = U$, yang ditetapkan dengan analisis ukuran butir, adalah perbandingan antara D_{60} dan D_{10} ($= D_{60} : D_{10}$). D_{60} dan D_{10} masing-masing adalah diameter butir pada kurva gradasi butir material dalam mm (yang 60% dan 10% dari keseluruhan berat material tersebut lolos dari saringan yang digunakan).

4 Fungsi dan persyaratan

4.1 Fungsi urugan filter pelindung pada bendungan urugan

Fungsi urugan filter pelindung pada bendungan urugan, sebagai berikut :

- a) sebagai sarana untuk mengarahkan dan mengendalikan aliran air rembesan ke luar dari dalam urugan tanah melalui media berpori;
- b) untuk mencegah terjadinya erosi buluh di antara zone-zone urugan dan fondasi bendungan urugan;
- c) untuk mengendalikan tingkat kejenuhan air dan tekanan rembesan pada urugan tanah ataupun inti kedap air, agar berada pada tingkat yang aman bagi bendungan urugan itu.

4.2 Syarat keamanan hidraulik bahan urugan filter pelindung

4.2.1 Syarat keamanan hidraulik terhadap erosi buluh

Pori-pori dalam filter (yang letaknya bersinggungan dengan urugan tanah dan batuan yang mudah tererosi) dan drainase **harus cukup kecil**, sehingga dapat mencegah terangkutnya butir padat urugan yang halus masuk ke dalam (melewati) pori-pori tersebut.

4.2.2 Syarat keamanan hidraulik yang berkaitan dengan kelulusan air

Pori-pori dalam filter dan drainase **harus cukup besar**, sehingga kelulusan air yang terjadi akan memadai (kelulusan airnya minimum 25 x kelulusan air dari material yang dilindungi), dan air rembesan dapat ke luar dengan bebas, dengan demikian gaya rembesan dan tekanan hidrostatik dapat dikendalikan dengan baik. Pemadatan tidak boleh dilakukan secara berlebihan, apabila dikhawatirkan akan terjadi kehancuran bahan urugan filter pelindung sehingga dapat mengurangi kelulusan airnya (lihat butir 5.3).

4.3 Syarat keamanan struktural urugan filter pelindung

4.3.1 Keamanan terhadap retakan

Filter pelindung perlu dipelihara keamanan strukturalnya terhadap kemungkinan terjadinya rekahan (retakan) pada tubuh urugan filter tersebut.

4.3.2 Keamanan terhadap likuifaksi

Filter pelindung perlu dipelihara keamanan strukturalnya terhadap kemungkinan terjadinya likuifaksi akibat terjadinya gempa bumi tektonik.

4.3.3 Keamanan terhadap terjadinya penurunan

Filter pelindung perlu dipelihara keamanan strukturalnya terhadap kemungkinan terjadinya penurunan pada tubuh bendungan termasuk penurunan pada filter pelindung tersebut.

5 Tata cara penentuan gradasi bahan filter pelindung pada bendungan tipe urugan

5.1 Kriteria bahan urugan filter pelindung

Kriteria bahan urugan filter pelindung, sebagai berikut :

- a) Pasir kerikil yang tergradasi dengan baik (*well graded*) dapat dijadikan urugan filter pelindung yang sangat bagus untuk melindungi lanau yang betul-betul seragam atau pasir halus yang seragam, apabila segregasi dapat dihindari pada saat penempatannya;
- b) Untuk menjamin tercapainya kelulusan air yang memadai dalam urugan filter pelindung, persentase material halus atau lolos saringan no. 200 (ASTM) terhadap material yang disaring harus tidak lebih dari 5% berat (setelah dilakukannya pemadatan);
- c) Koefisien kelulusan air ($= k$) bahan filter pelindung harus berkisar antara (20 - 100) x koefisien kelulusan air dari material yang dilindungi. Untuk mencapai kondisi tersebut harus dipenuhi persyaratan sebagai berikut :
 - 1) $D_{15} F < 5 \times D_{85} B$ bila tanah yang dilindungi merupakan tanah yang non kohesif;
 - 2) $D_{15} F = 10 \times D_{85} B - 20 \times D_{85} B$ bila tanah yang dilindungi berupa tanah yang kohesif.
- d) Koefisien kelulusan air ($= k$) filter pelindung yang terbuat dari pasir & kerikil bergradasi seragam sampai sedang ($C_u = D_{60} : D_{10}$ umumnya = 1,5 - 8), dapat diperkirakan dengan persamaan empiris: $k = 0,35 \times (D_{15} F)^2$ [k dalam cm/detik dan $D_{15} F$ dalam mm];
- e) Kurva ukuran butir bahan filter pelindung tak harus sejajar atau tak harus serupa bentuknya dengan kurva ukuran butir dari tanah dasar (tanah atau material yang dilindungi = B);
- f) Gradasi dari bahan filter pelindung (F) harus mengikuti ketentuan sebagai berikut :
 - 1) bila butirnya bergradasi seragam : $D_{50} F = 5 \times D_{50} B - 10 \times D_{50} B$;
 - 2) bila gradasi butir jelek - baik dan membundar sedang : $D_{50} F = 12 \times D_{50} B - 58 \times D_{50} B$;
 - 3) bila butirnya bergradasi jelek - baik dan menyudut : $D_{50} F = 9 \times D_{50} B - 30 \times D_{50} B$.

5.2 Kategori tanah dasar yang akan dilindungi dengan urugan filter pelindung

Tanah dasar harus dikelompokkan dalam kategori yang didasarkan pada persentase berat material yang lolos melewati saringan no.200 (ASTM), seperti terlihat pada Tabel 1;

Tabel 1 Kategori tanah dasar

Kategori	Persentase berat tanah dasar yang lolos dari saringan ASTM No. 200 (0,074 mm)
1	> 85 %
2	40% - 85%
3	15% - 39%
4	< 15%

5.3 Tata cara penentuan batas gradasi urugan filter pelindung pada bendungan urugan

- a) Langkah permulaan :
 - 1) Buatlah kurva gradasi dari tanah dasar. Gunakan contoh material yang jumlahnya memadai, untuk menentukan kisaran ukuran butir tanah dasar, dan buatlah desain gradasi filter berdasarkan tanah dasar yang akan dilindungi dan memerlukan ukuran $D_{15} F$ minimum.
 - 2) Lakukanlah langkah 4) apabila tanah dasar tidak mengandung kerikil (yaitu material yang tertahan pada saringan no. 4).

- 3) Buatlah **kurva gradasi yang disesuaikan** untuk tanah yang mengandung butir yang tertahan pada saringan no.4 (diameter lubang: 4,75 mm), dengan cara :
 - (1) Tentukan **faktor koreksi** dengan cara: bagilah angka 100 dengan persentase berat butir bahan yang lolos dari saringan ASTM no. 4 ($< 4,75$ mm).
 - (2) Kalikanlah **persentase** berat butir tanah dasar yang lolos dari setiap ukuran saringan yang lebih kecil dari pada ukuran saringan no. 4, dengan faktor koreksi yang diperoleh dari langkah 3) (1).
 - (3) Plotkanlah **persentase berat butir tanah dasar yang telah disesuaikan** agar bisa didapatkan kurva gradasi yang baru.
 - (4) Gunakanlah **kurva gradasi yang telah disesuaikan** untuk menentukan **persentase berat butir tanah** yang lolos dari saringan no. 200 ($< 0,074$ mm) pada langkah 4).
- 4) Golongkan tanah dasar dalam kategori yang didasarkan pada persentase berat material yang lolos dari saringan no.200 ($< 0,074$ mm) seperti terlihat pada Tabel 1.
- 5) Tentukan ukuran $D_{15} F$ maksimum dengan menggunakan isi dari Tabel 2. Perlu dicatat bahwa ukuran $D_{15} F$ maksimum tidak boleh $< 0,2$ mm.

Tabel 2 Kategori tanah dasar dan kriteria bahan urugan filter

Kategori Tanah Dasar	Deskripsi Tanah Dasar, dan persentase berat material yang halus, yaitu yang lolos dari saringan ASTM no.200 (diameter $< 0,074$ mm) a)	Kriteria Bahan Urugan Filter b)
1	lanau lempungan dan lempung; material halus: > 85 %	$D_{15} F \leq 9 \times D_{85} B$; c) bila $[9 \times D_{85} B] < 0,2$ mm \Rightarrow gunakan: 0,2 mm
2	pasir, lanau, lempung, pasir lanauan dan pasir lempungan; material halus: 40 % - 85 %	$D_{15} F \leq 0,7$ mm
3	pasir lanauan, pasir lempungan & kerikil; material halus: 15 % - 39 %	$D_{15} F \leq 0,7$ mm + $\frac{(40 - A) \times (4 \times D_{85} B - 0,7 \text{ mm})}{25}$; d), e) bila $(4 \times D_{85} B) < 0,7$ mm \Rightarrow gunakan: 0,7 mm
4	pasir dan kerikil; material halus: < 15 %	$D_{15} F \leq 4 \times D_{85} B$ f)

Catatan (khusus untuk Tabel 2) :

a) Kategori untuk tanah yang berisi partikel $> 4,75$ mm ditentukan dengan kurva gradasi tanah dasar yang telah disesuaikan dengan jumlah 100 % dari material yang bisa lolos melewati saringan ASTM no. 4 (yang ukuran butirnya $<$ ukuran lubang $4,75$ mm).

b) Bahan filter berukuran partikel maksimum = 75 mm, dan jumlah berat maksimum bahan = 5 % yang bisa lolos melewati saringan ASTM no.200 ($< 0,074$ mm), dengan Indeks Plastisitas (IP) dari partikel halus = 0 . Harga IP ditentukan untuk material yang bisa lolos dari saringan no.40 ($< 0,425$ mm) sesuai dengan yang dikemukakan dalam Earth Manual (USBR 5360 [1985]). Untuk menjamin tercapainya **koefisien kelulusan air (= k)** yang memadai, bahan filter harus

mempunyai ukuran $\frac{D_{15} F}{D_{15} B} \geq 5$, namun nilai $D_{15} F$ tidak boleh lebih kecil dari pada $0,1$ mm.

c) Apabila $(9 \times D_{85} B) < 0,2$ mm, maka gunakanlah: $0,2$ mm sebagai $(9 \times D_{85} B)$.

d) A = persentase berat material yang lolos melewati saringan no.200 (setelah terlaksananya "regrading").

- e) Apabila $(4 \times D_{85} B) < 0,7 \text{ mm}$, maka gunakanlah: $0,7 \text{ mm}$ sebagai $(4 \times D_{85} B)$.
- f) Dalam kategori 4, diameter partikel $D_{85} B$ dapat ditentukan dengan kurva gradasi awal (asli) dari tanah dasar, tanpa diadakan penyesuaian untuk partikel yang lebih besar dari pada $(>) 4,75 \text{ mm}$.
- 6) Untuk menjamin tercapainya koefisien kelulusan air yang memadai, ukuran $D_{15}F$ minimum harus lebih besar dari pada (atau sama dengan) $5 \times D_{15}B$ tetapi tidak boleh $< 0,1 \text{ mm}$.
- 7) Tentukan ukuran butir maksimum bahan filter sebesar 3 inci (75 mm) dan persentase berat maksimum butir yang lolos melewati saringan no. 200 ($< 0,074 \text{ mm}$) ditentukan sebesar 5%. Bagian dari bahan filter yang lolos melewati saringan no.40 ($< 0,425 \text{ mm}$) harus mempunyai Indeks Plastisitas (IP) = 0 apabila diuji di laboratorium sesuai dengan yang dikemukakan dalam *Earth Manual* (USBR 5360 [1985]).
- 8) Buatlah desain batas-batas filter dalam kisaran nilai-nilai maksimum dan minimum yang ditentukan dengan langkah 5), 6) dan 7). Gradasi standar dapat digunakan bila diperlukan. Plotkanlah harga-harga batasnya dan hubungkan semua titik maksimum dan minimum dengan garis-garis lurus. Untuk mengurangi kemungkinan terjadinya segregasi dan efek-efek terkait sampai seminimum mungkin, bahan filter harus memperlihatkan kurva distribusi ukuran butir yang relatif seragam, tanpa adanya kekosongan gradasi. Hal ini memerlukan penentuan batas yang mengurangi luasnya batas ukuran bahan filter dalam kisaran nilai maksimum dan minimum yang ditentukan.

Filter pasir dengan $D_{90} F < 20 \text{ mm}$ umumnya tidak memerlukan pembatasan keluasan batas ukuran filter untuk mencegah terjadinya segregasi. Untuk filter yang bahannya berbutir lebih kasar dan zone kerikil yang bertindak sebagai filter dan drainase, rasio $D_{90} F : D_{10} F$ harus berkurang dengan cepat seiring dengan bertambahnya ukuran butir $D_{10} F$.

Batas-batas yang tercantum pada Tabel 3 disarankan untuk diterapkan, guna mencegah kemungkinan terjadinya segregasi selama pelaksanaan konstruksi urugan filter pelindung yang bahan urugan filternya berbutir lebih kasar.

Tabel 3 Batas-batas $D_{10} F$ dan $D_{90} F$ untuk mencegah terjadinya segregasi

$D_{10} F$ minimum (mm)	$D_{90} F$ maksimum (mm)
$< 0,5$	20
0,5 - 1,0	25
1,0 - 2,0	30
2,0 - 5,0	40
5,0 - 10,0	50
10,0 - 50,0	60

- b) Apabila membuat desain filter untuk melindungi tanah berbutir halus, misalnya lanau dan lempung dalam inti kedap air bendungan atau fondasinya, fungsi filter-drainase adalah untuk membatasi migrasi partikel dari rekahan dan mempertahankan agar kapasitas hidraulik bisa memadai untuk rembesan dan bocoran yang terkonsentrasi. Oleh karena itu, filter yang jenuh harus tidak rawan terhadap kemungkinan terjadinya retakan internal. Bila filter berbutir halus perlu dibuat berdampingan dengan lempung atau lanau, filter lapis kedua dibuat (bila diperlukan) untuk mencegah terjadinya retakan melalui sistem tersebut dan untuk memelihara agar kapasitas aliran bisa tetap memadai.
- c) Dalam penerapan **kriteria desain filter**, pendesain harus memahami bahwa kriteria itu ditentukan di laboratorium di bawah kendali yang pada hakekatnya seperti pada kondisi ideal. Kondisi semacam itu mungkin tidak sesuai dengan kondisi di lapangan, dan

apalagi perhatian yang seksama untuk mencapai kondisi isotropi dan homogenitas di laboratorium tidak akan bisa sesuai dengan kondisi lapangan, baik dalam pelaksanaan konstruksi filter maupun konstruksi urugan tanah yang dilindungi oleh filter pelindung itu.

Selanjutnya, segera setelah bangunan air mulai dioperasikan, asumsi yang mendasari pemikiran desain filter mulai menyimpang, makin lama akan makin jauh penyimpangannya dari kondisi lapangan, setelah mulai terjadi pelapukan, sedimentasi, pertumbuhan bakteri, deposisi atau tersingkirnya butir padat terlarut, dan lainnya korosi ataupun pengurangan mutu. Perubahan kondisi ini sulit dievaluasi dalam desain filter dan bisa disebut sebagai faktor *judgement*, yang akan mendorong pendesain untuk memodifikasi kriteria tersebut guna menyesuaikan dengan kondisi terakhir di lapangan selama pelaksanaan konstruksi urugan filter pelindung itu.

Secara ideal, tiap desain filter pelindung harus dikonfirmasi dengan pengujian laboratorium. Apabila pendesain merasa ragu-ragu tentang kinerja filter, pengujian terhadap filter harus dilakukan. Misalnya, tanah yang dispersif, tanah non kohesif berbutir yang sangat halus, tanah yang berplastisitas tinggi dan tanah yang cenderung mengalami kekeringan, dapat memerlukan **tindakan penanggulangan tambahan** untuk peningkatan fungsi filter. Kriteria yang disajikan dianggap memadai untuk jenis tanah tersebut; namun pelaksanaan pengujian filter pelindung terhadap tanah dasar (tanah yang dilindungi) dan bahan filter merupakan tindakan yang cukup berhati-hati.

- d) Filter pelindung dan drainase sangat penting untuk mengamankan kinerja urugan tanah. Karena itu **keawetan** (*durability*) dari filter dan drainase sangat perlu untuk dijaga (dipelihara) agar keawetan maupun kinerja urugan tanah dapat terpelihara dengan baik. Material tanah untuk bahan filter dan drainase, bila memungkinkan, dapat dibuat dari material yang berasal dari lokasi di sekitar urugan tanah yang akan dilindungi dengan filter dan drainase tersebut. Namun demikian, tanah bahan filter harus diuji di laboratorium guna diuji bagus /tidaknya tanah itu untuk digunakan sebagai bahan filter dan drainase, dan sejumlah pemrosesan diperlukan untuk memenuhi batas-batas gradasi (ukuran butir) yang dikehendaki.

Pengujian laboratorium itu mencakup: gradasi (ukuran butir), kekerasan (*hardness*), kehancuran mekanis akibat tegangan desain, kepadatan (*density*), abrasi, dan ketahanan kimiawi. Pengujian kualitas yang perlu dilakukan terhadap pasir beton dan agregat, seharusnya digunakan untuk mempertimbangkan kualitas keawetan (*durability*) dari bahan filter dan drainase. Sekalipun demikian, beberapa persyaratan agregat beton tidak diperlukan untuk bahan filter atau drainase, misalnya: batu rijang (*chert*) dapat merusak beton, tetapi cukup baik untuk digunakan sebagai bahan filter dan drainase. Persyaratan tentang ketahanan terhadap kehancuran mekanis dan kimiawi untuk bahan filter dan drainase tidak begitu ketat, dibandingkan dengan persyaratan untuk digunakan sebagai agregat beton.

Hasil-hasil pengujian harus bisa menjamin keawetan dari bahan filter, yang tidak akan mengalami alterasi ataupun perubahan akibat metode-metode penggalian, pemrosesan, pengangkutan, penumpukan/penempatan dan pemadatan, atau akibat pelapukan jangka panjang dan erosi ataupun tegangan dari beban strukturnya. Dalam hal adanya keraguan tentang kualitas sumber bahan filter, uji urugan secara insitu perlu dilakukan baik pada tahap desain maupun pada awal perjanjian kontrak, untuk menentukan banyaknya kehancuran akibat pemrosesan, pemuatan, pengangkutan, penumpukan/penempatan, dan pemadatan bahan filter dan drainase. Apabila bahan filter berkualitas tinggi tidak tersedia di sekitar lokasi urugan, bahan filter itu harus didatangkan dari lokasi yang lebih jauh, bahkan kalau sangat diperlukan kadang-kadang terpaksa harus diimpor.

- e) Pembuatan desain filter harus menghasilkan **biaya minimal** yang diperlukan untuk memenuhi persyaratan aplikasi dan melengkapinya dengan metode konstruksi filter

terantisipasi yang masuk akal. Apabila bahan alami cukup baik, dan dapat diproses secara ekonomis untuk menjadi bahan filter pelindung yang memadai, bahan alami itu harus bisa digunakan sebagai bahan filter-drainase. Dimensi zone-zone filter-drainase harus menampakkan keseimbangan antara kemudahan konstruksi, jumlah bahan filter yang tersedia, sekaligus kesesuaiannya dengan persyaratan hidraulik.

- f) **Kriteria ukuran butir bahan urugan filter pelindung** yang berhubungan dengan perforasi dalam pipa drainase adalah:

$$\frac{D_{85} \text{ dari bahan filter pelindung yang terdekat dengan pipa}}{\text{diameter lubang maksimum (perforasi pipa drainase)}} \geq 2$$

Filter atau drainase di sekeliling pipa drainase harus memenuhi kriteria filter dalam hubungannya dengan tanah di sekelilingnya. Drainase yang terdiri atas beberapa lapis filter sering kali diperlukan. Ditekankan agar pipa drainase (di bawah permukaan bendungan urugan) yang sulit pencapaiannya harus dihindari. Pipa drainase harus ditentukan ukurannya, lokasi penempatannya, dan dilengkapi dengan lubang yang dapat dilewati orang (*manholes*) agar mudah dimasuki untuk keperluan inspeksi, pemeliharaan dan perbaikan bila diperlukan. Dimensi drainase harus direncanakan sedemikian rupa agar dapat mengalirkan tak lebih tinggi dari pada 75% x kondisi penuh pada debit maksimum yang diharapkan.

- g) **Sumur pelepas tekanan (*relief wells*)** digunakan untuk melepaskan tekanan hidrostatik di areal tumit kritis dari suatu bendungan. Konsekuensi serius dapat terjadi bila bagian tersebut tidak berfungsi dengan baik. Bagian itu harus sangat dipercaya keawetannya sesuai dengan umur layan bendungan. Desain filter ataupun *gravel pack* sangat penting dalam menjamin kepercayaan dan keawetan yang diperlukan.

- h) **Kriteria ukuran butir bahan urugan filter pelindung** sehubungan dengan lebar celah dan diameter lubang perforasi pipa drainase yang dipasang di dalam bahan filter (Army Corps of Engineers, 1955a, dikutip dari Cedergren [1973] halaman 24) adalah:

$$\frac{D_{85} F}{\text{lebar celah pipa (slotted)}} > 1,2$$

$$\frac{D_{85} F}{\text{diameter lubang perforasi}} > 1,0$$

- i) Di antara berbagai tipe **selimut (*blanket*)** yang lulus air, selimut drainase hilir di bawah permukaan bendungan tanah baik di atas fondasi maupun di atas tumpuan bendungan, barangkali mempunyai paling sedikit kebutuhan kritis material. Endapan pasir dan kerikil alami sangat mungkin mengandung pasir dan butir halus lain yang berlebihan. Namun demikian, apabila bahan ini bersih, hampir setiap campuran pasir dan kerikil dapat digunakan dengan cara mempertebal selimut lulus air secukupnya, sehingga rembesan melewati urugan dan fondasinya dapat teralirkan dalam bagian selimut tersebut.

Sekalipun demikian, kriteria filter harus sesuai dengan zone-zone urugan dan fondasi di sekitarnya, dan tanah internal yang tidak stabil seperti misalnya beberapa **kekosongan gradasi** dan **tanah yang bergradasi lebar** tidak dapat digunakan sebagai selimut drainase. Demikian pula kapabilitas debit dari selimut drainase harus diverifikasi dengan perhitungan yang benar-benar tepat.

Selimut lulus air di bawah struktur beton biasanya dibuat setipis mungkin. Untuk itu diperlukan pemrosesan bahan filter dari endapan alami diproses menjadi bahan dengan gradasi yang dikehendaki. Sistem filter berlapis dua seringkali digunakan. Kriteria filter

pelindung mengarahkan pemilihan bahan filter untuk tipe konstruksi seperti ini. Kapabilitas aliran dalam tiap lapis dari **drainase berlapis ganda** harus selalu ditentukan.

- j) **Drainase chimney** dan **filter vertikal** atau **miring** dalam urugan lebih disukai berukuran lebar minimum 2,4 - 3,0 m yang dapat dibuat dengan menggunakan alat konstruksi yang kecil; namun demikian, lebar horisontal sampai 4,9 m lebih sering digunakan oleh pelaksana apabila mobil penumpah bahan dari bagian dasar (*bottom dump loader*) digunakan untuk menumpuk bahan filter. Pertimbangan ekonomis kadang-kadang mengharuskan penggunaan lebar zonal selebar 1 m. Zone yang sempit seperti ini memerlukan prosedur khusus tentang penumpukan bahan dan inspeksi yang sangat sering selama masa konstruksi.

Ketahanan terhadap peretakan atau **kapabilitas memperbaiki kondisi sendiri** dari zone yang sempit lebih kecil dari pada zone yang lebar, dan zone yang sempit itu harus tidak dibuat apabila bahan filter yang ada memadai dan cukup ekonomis. Seringkali, pengurangan biaya penumpukan bahan untuk zone yang lebar akan seimbang dengan adanya penambahan biaya penumpukan bahan bila yang dibuat adalah zone yang sempit. Pertimbangan biaya pelaksanaan akan menjadi faktor penentu hanya apabila pembuatan zone yang sempit memenuhi persyaratan desain (kapasitas hidraulik, pencegahan peretakan, filtrasi, dan kemampuan memperbaiki diri sendiri) dengan memadai.

- k) Dimensi filter pelindung, misalnya **ketebalan filter**, ditentukan oleh beberapa faktor, termasuk faktor-faktor teoritis maupun praktis, yaitu:
- 1) Filter dan drainase harus memiliki kapasitas hidraulik yang memadai untuk dilewati sejumlah air yang terantisipasi. Kapasitas hidraulik biasanya didefinisikan sebagai transmisibilitas (T) yang rumusnya adalah: $\frac{k \times t}{L}$ (k = koefisien kelulusan air, t = ketebalan [tegaklurus terhadap arah aliran air]);
 - 2) Dimensi filter pelindung harus dapat mengakomodasikan potensi pergeseran (*displacement*) yaitu : pergerakan diferensial, pergeseran sesar (patahan), deformasi akibat gempa bumi, dan sebagainya;
 - 3) Dimensi filter pelindung harus cukup tebal atau cukup lebar untuk mempermudah pelaksanaan pemadatan yang memadai dan mencegah terjadinya kontaminasi dari zone-zone di sekitarnya. Dari pertimbangan praktis, koefisien kelulusan air minimum yang diperlukan pada suatu lapisan drainase harus ditentukan dengan formula berikut :
- $$k_{\text{minimum}} = \frac{\text{Transmisibilitas minimum yang dikehendaki}}{\text{Lebar atau ketebalan praktis minimum}} = \frac{T_{\text{minimum}}}{t_{\text{minimum}}}$$
- 4) Ketebalan atau lebar filter pelindung harus memadai untuk keperluan desain dan konstruksi, namun cukup ekonomis sehubungan dengan ketersediaan dan harga bahan filter yang akan dipergunakan;
 - 5) Keawetan struktur urugan filter pelindung yang dikehendaki harus dipertimbangkan dalam menentukan derajat konservatisme yang digunakan dalam pendesainan ketebalan dan lebar filter pelindung;
 - 6) Biaya penempatan filter pelindung yang lebih murah dengan menggunakan peralatan konstruksi modern yang besar harus dibandingkan dengan penggunaan zone-zone sempit yang biaya prosedur penempatan urugan filter pelindungnya akan lebih mahal.

- l) Untuk menghindari **kontaminasi** (*contamination*) terhadap zone-zone filter-drainase akibat berlebihannya butir halus selama konstruksi, beberapa teknik harus diterapkan.

Zone itu harus dijaga agar tetap lebih tinggi dari pada permukaan urugan di sekitarnya, dan urugan harus ditempatkan sedemikian guna memelihara drainase air permukaan (dan sedimen) agar terletak cukup jauh dari zone-zone filter-drainase. Lalu-lintas kendaraan proyek harus diatur setepat mungkin, dengan persimpangan-persimpangan yang terbatas pada jalan-jalan yang telah disiapkan yang akan dipindahkan seluruhnya sebelum pelaksanaan penempatan bahan filter-drainase tambahan.

Bahan yang awet harus dirinci, dan usaha pemadatan harus mengarah ke keperluan minimum untuk mencapai kepadatan setempat yang dikehendaki, guna meminimumkan kehancuran butir bahan filter selama penempatannya. Peralatan harus dibatasi pengoperasiannya hanya pada zone-zone filter-drainase, atau dibersihkan sebelum mulai dioperasikan, untuk menghindari terjadinya kontaminasi internal yang tidak perlu terjadi. Apabila musim konstruksi telah berakhir, permukaan zone-zone filter-drainase harus ditutupi (sebagai tambahan persyaratan drainase permukaan) dan bahan penutupnya harus dibuka seluruhnya sebelum dimulainya penempatan bahan urugan filter pelindung baru dalam musim konstruksi berikutnya.

- m) **Pemadatan** bahan filter dan drainase harus cukup untuk menghasilkan kepadatan (*density*) yang memadai untuk mencegah terjadinya likuifaksi, membatasi terjadinya konsolidasi, dan menghasilkan kekuatan yang memadai. Sekalipun demikian, pemadatan yang berlebihan dapat menyebabkan hancurnya bahan filter dan mengurangi kelulusan airnya. Kepadatan minimum tidak boleh $< 70\%$ x kepadatan relatif dalam segala keadaan. Apabila batas ukuran butir untuk filter atau drainase dirinci, uji ukuran butir harus dilakukan terhadap bahan yang dipadatkan, untuk mensimulasikan sedekat mungkin ukuran butir dan struktur tanah setelah hancurnya partikel akibat konstruksi.

Apabila bahan filter yang digunakan kelulusan airnya tak memadai (setelah dipadatkan), perubahan ukuran butir harus dilakukan agar dapat tercapai kelulusan air yang dikehendaki. Demikian juga pendesain harus mempertimbangkan dilakukannya perubahan ketebalan lapisan ataupun geometri drainase yang akan meningkatkan kapasitas debit sampai ke level yang dikehendaki, sambil melengkapinya dengan proteksi oleh filter pelindung sesuai dengan yang diperlukan.

- n) Dalam pembuatan desain filter pelindung pendesain harus mengacu pada standar desain ini. Bila adanya **deviasi** terhadap standar ini diperlukan dengan berbagai alasan, maka alasan pokok mengapa standar ini tidak digunakan harus disajikan dalam dokumentasi teknis untuk desain filter pelindung. Dokumentasi teknis tersebut harus disetujui oleh Komisi Keamanan Bendungan.
- o) Kriteria filter pelindung ini **dapat diaplikasikan** dalam pembuatan desain tentang filter dan drainase dengan variasinya yang cukup luas, yang tergolong sebagai unsur yang terinci untuk setiap bangunan keairan dengan kondisi-kondisi khusus sebagai berikut :
- 1) tekanan angkatnya (*uplift pressure*) yang berlebihan dapat mengarah ke terjadinya migrasi, pendidihan (*boiling*), dan erosi buluh (*piping*);
 - 2) aliran rembesannya memerlukan pengendalian dan pengarahan;
 - 3) permukaan freatiknya harus dikendalikan sampai ke bawah level tertentu;
 - 4) gradien pengeluarannya (*exit gradient*) harus direduksi sampai ke angka maksimum yang dapat diterima;
 - 5) perlu direduksi tekanan air porinya;
 - 6) memerlukan dilakukannya proteksi terhadap erosi.

Filter-filter yang saling berhubungan menjadi sistem drainase internal yang berfungsi untuk melindungi struktur yang dialirkan airnya. Kisaran bangunan keairan yang dapat memerlukan drainase mencakup (namun tidak hanya terbatas pada) bendungan urugan, tanggul, perkuatan lereng, membran bagian hulu, fondasi dan tumpuan atau

sandaran, gorong-gorong pengeluaran, kolam peredam energi, dinding penahan, dan *lining* saluran. Kriteria desain filter pelindung dapat digunakan untuk mendesain filter yang bersinggungan dengan tanah non kohesif, tanah kohesif, dan batuan.



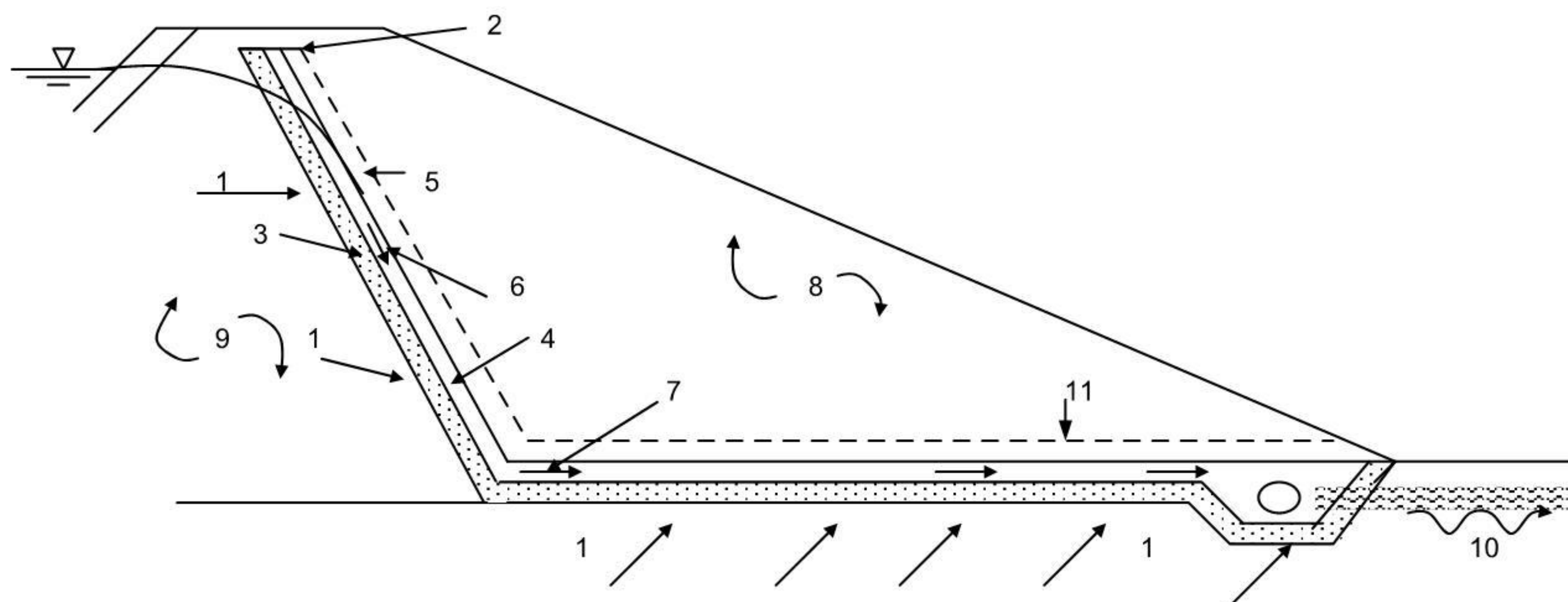
Lampiran A
(informatif)
Daftar simbol dan kepanjangan singkatan

A	Persentase berat material yang lolos melewati saringan ASTM no.200 (sesudah dilakukannya " <i>regrading</i> ").
ASTM	American Society for Testing and Materials.
B	Material (tanah) dasar yang dilindungi dengan filter dan dialirkan airnya ke luar dengan filter-drainase.
D	Diameter partikel / butir material, dalam mm.
D ₈₅	Diameter butir pada kurva gradasi material dalam mm, yang 85% dari keseluruhan berat material itu lolos dari saringan yang digunakan, dan ditetapkan dengan analisis ukuran butir.
F	Bahan filter / filter-drainase
IP	Indeks Plastisitas (= Batas Cair - Batas Plastis)
k	Koefisien Kelulusan Air = Koefisien Permeabilitas (dalam cm/detik)



Lampiran B (informatif)

Gambar

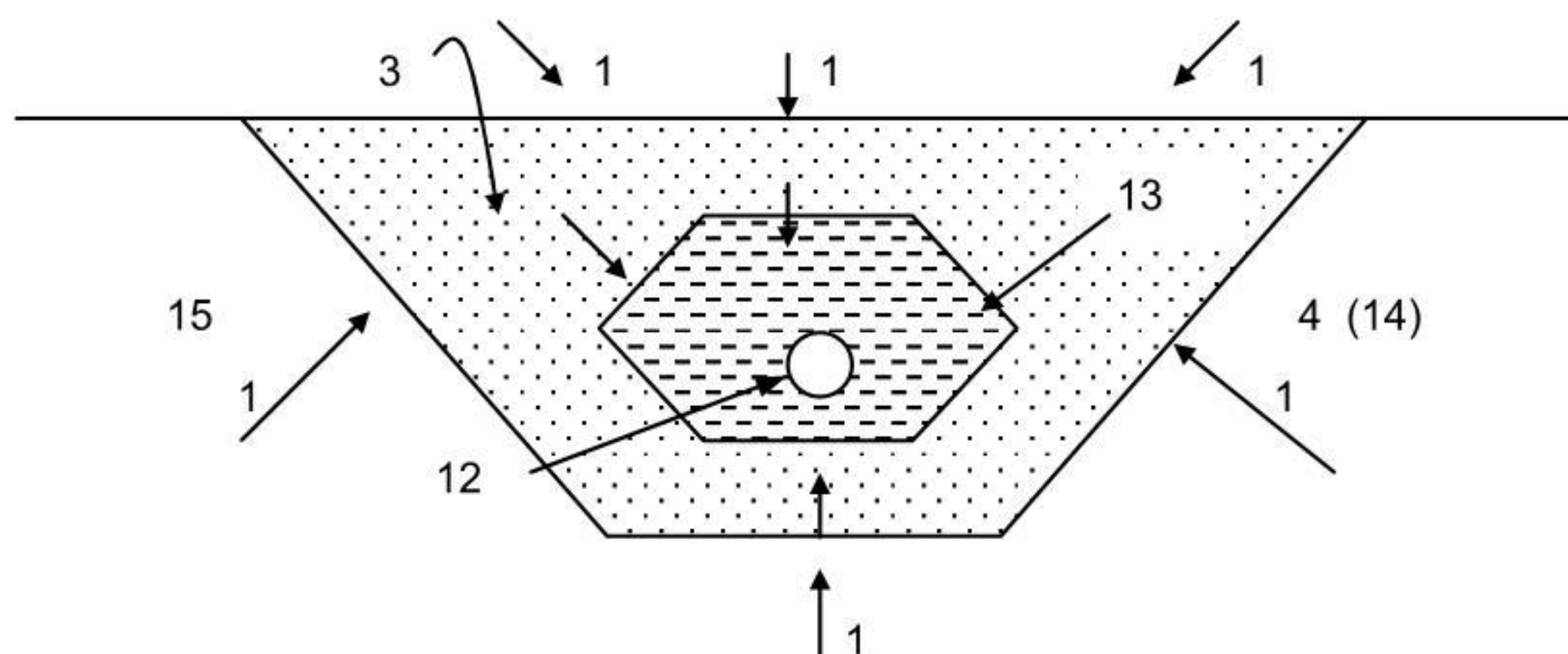


Gambar B.1 Bendungan dengan drainase “chimney” dan drainase selimut pengeluaran (outlet blanket drain)

Rembesan mengalir menembus areal filter yang cukup luas ke dalam lapisan drainase berbutir kasar. Kriteria desain filter standar biasanya menjamin bahwa filter agak lebih lulus air dari pada tanah yang dialirkan airnya. Kalkulasi hidraulik diperlukan untuk menentukan *transmisibilitas* ($T = kt$) dalam zone drainase.

Keterangan gambar B.1 dan B.2 :

- | | |
|-----------------------|----------------------------------|
| 1. Rembesan | 9. Urugan kedap air |
| 2. Drainase “chimney” | 10. Pengeluaran |
| 3. Zone 1 (filter) | 11. Drainase selimut pengeluaran |
| 4. Zone 2 (drainase) | 12. Pipa |
| 5. Zone 3 (transisi) | 13. Aliran |
| 6. Aliran ke bawah | 14. Aliran memusat |
| 7. Aliran mendatar | 15. Fondasi |
| 8. Urugan acak | |



Gambar B.2 Drainase tumit atau drainase paritan

Rembesan memusat menembus filter dan zone drainase sampai ke pipa. Kalkulasi hidraulik diperlukan untuk menetapkan transmisibilitas yang diperlukan dari kedua zone.

Lampiran B (Lanjutan)

Ilustrasi keperluan pembuatan filter dan transmisibilitas pada drainase di bawah (dalam) bendungan dan bangunan penampung air lainnya

Apabila keperluan tentang kapasitas debit (transmisibilitas) dari drainase cukup penting, analisis rembesan dapat sama pentingnya dengan analisis kriteria filter. Lampiran ini mengilustrasikan situasi tipikal di mana transmisibilitas sama pentingnya dengan proteksi filter pelindung.

Gambar 1 memperlihatkan drainase *chimney* vertikal dalam bendungan, dan drainase selimut pengeluaran. Masing-masing dari kedua sistem tersebut mempunyai lapisan **filter** yang melindungi tanah tempat ke luarnya air yang masuk ke dalam drainase (zone 1), drainase internal kerikil kasar atau batuan yang dihancurkan untuk mengalirkan air (zone 2), dan suatu zone transisi untuk melindungi lapisan berbutir kasar terhadap kontaminasi dari material urugan yang posisinya berdampingan (zone 3).

Zone 1 merupakan **filter** yang sebenarnya dan harus didesain menggunakan kriteria filter tersebut di depan. Apabila filter itu cukup luas dan areal *inflow* yang cukup luas tersedia untuk rembesan, dan tidak terdapat konsentrasi yang hebat ataupun aliran yang memusat (lihat Gambar 1), kriteria filter standar umumnya akan menjamin bahwa filter agak lebih lulus air dari pada tanah yang dialirkan airnya. Pendesain seharusnya selalu merasa yakin bahwa filter akan lebih lulus air dari pada tanah yang dialirkan airnya, dan tidak pernah lebih kedap air dari pada *tanah* tersebut. Apabila ada keraguan, kelulusan air filter harus diuji dengan pengujian laboratorium ataupun pengujian lapangan dengan metode yang benar-benar tepat.

Gambar 2 memperlihatkan drainase tumit atau drainase paritan dengan sebatang pipa yang mengalirkan rembesan ke suatu pengeluaran. Di sekeliling pipa terdapat zone batuan yang dihancurkan ataupun kerikil (zone 2) yang didesain untuk mencegah terjadinya erosi buluh pada zone pasir dan kerikil di sekitarnya (zone 1) melalui drainase. Lubang atau *slots* pada pipa seharusnya cukup kecil (lihat 5.3.h) untuk mencegah masuknya batuan yang dihancurkan atau kerikil ke dalam pipa.

Pasir dan kerikil (zone 1) terutama berfungsi sebagai filter karena harus melindungi tanah di sekitarnya agar tetap terletak di tempat semula; sekalipun demikian zone 1 harus memiliki transmisibilitas yang memadai agar air yang melewatinya dapat sampai ke zone 2 dengan lancar. Oleh karena zone 1 relatif luas dan mempunyai areal aliran yang cukup luas, kelulusan air yang memadai biasanya tidak sulit untuk dicapai. Namun demikian, dalam situasi seperti terlihat dalam hal ini, oleh karena kelulusan air yang tidak memadai dapat membahayakan bangunan keairan secara keseluruhan, maka transmisibilitas dari zone 1 dan zone 2 seharusnya dicek dengan perhitungan hidraulik. Zone 2 relatif sempit, oleh karena itu kelulusan airnya harus meningkat secara memadai untuk mengkompensasi berkurangnya areal aliran air masuk.

Meskipun pemikiran bahwa kapasitas debit drainase harus cukup besar untuk mengalirkan air yang perlu dibuang tanpa berlebihannya tinggi tekan bukanlah konsep baru, jarang ada pendesain yang sadar sehingga ia mau melakukan perhitungan untuk menentukan kelulusan air minimum yang bisa diterima dalam drainase.

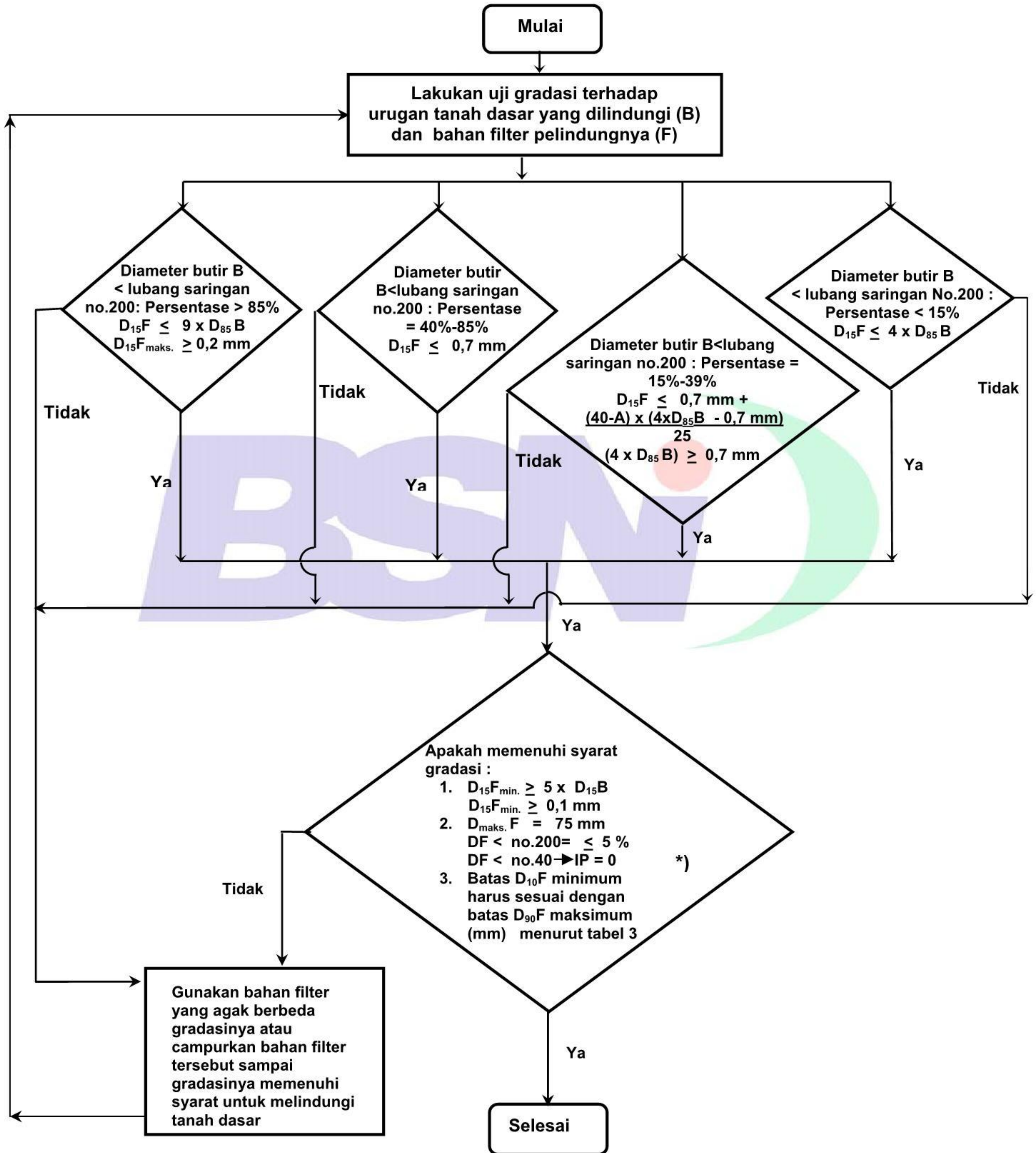
Sebagian besar bendungan tanah yang dibangun 20 tahun sampai dengan 30 tahun yang lalu, telah mempunyai sistem drainase yang mahal dan teliti, yang secara praktis bagaikan tanpa manfaat, karena zone drainase banyak mengandung material berbutir halus

sehingga kapabilitas debit hanya 1% atau kurang dari tingkat yang diperlukan. Aplikasi yang hati-hati dari prinsip yang diuraikan pada lampiran ini sesungguhnya dapat mengeliminir beberapa kesalahan. Melakukan analisis hidraulik, seperti yang diuraikan di sini, barangkali sama pentingnya dengan menganalisis kriteria filter, apabila kapasitas debit drainase merupakan hal yang sangat penting.



Lampiran C (normatif)

Bagan alir kegiatan tata cara penentuan gradasi bahan filter



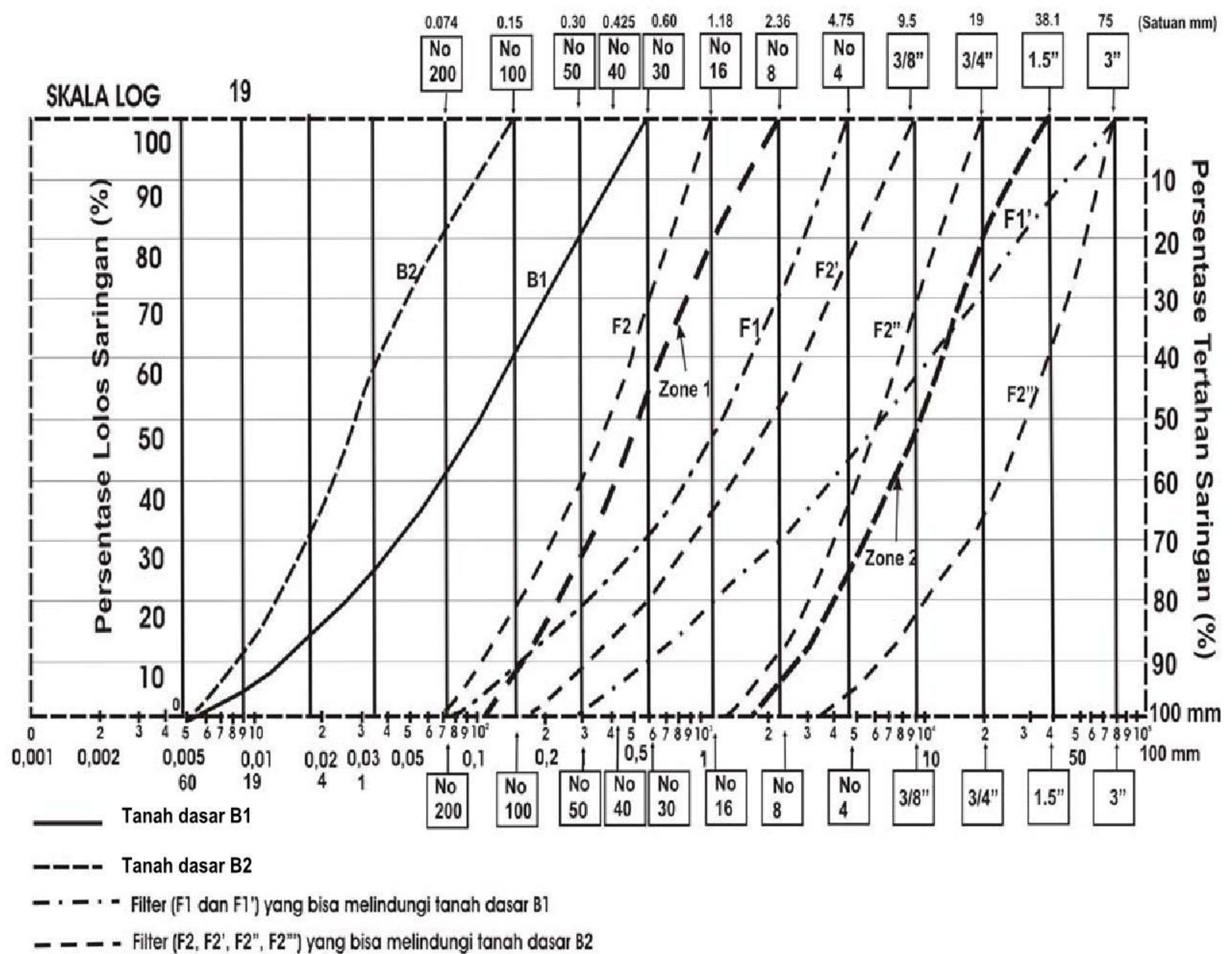
Catatan: *) IP = Indeks Plastisitas (= Batas Cair - Batas Plastis)

Lampiran D (informatif)

**Contoh penggunaan kriteria bahan filter pelindung
untuk bahan filter terseleksi**

Lampiran D

Contoh penggunaan kriteria bahan filter pelindung untuk bahan filter terseleksi



Bibliografi

Cedergren, H.R., 1973, "*Seepage Control in Earth Dams*", In: *Embankment Dam Engineering - Casagrande Volume*, Editors: Hirschfeld, R.C. dan Poulos, S.J., A Wiley - Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York. London. Sydney. Toronto, halaman 21-45.

Departemen Pekerjaan Umum, 1990, "*Metode Pengujian Batas Plastis*", SNI 03-1966-1990, Badan Litbang Pekerjaan Umum.

Departemen Pekerjaan Umum, 1990, "*Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*", SNI 03-1968-1990, Badan Litbang Pekerjaan Umum.

Departemen Pekerjaan Umum, 1991, "*Metode Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi 'Los Angeles'*", SNI 03-2417-1991, Badan Litbang Pekerjaan Umum.

Departemen Pekerjaan Umum, 1994, "*Metode Pengujian Sifat Kekekalan Bentuk Agregat Terhadap Larutan Natrium Sulfat dan Magnesium Sulfat*", SNI 03-3407-1994, Balitbang Pekerjaan Umum.

Direktorat Bina Teknik, 1999, "*Panduan Perencanaan Bendungan Urugan*", Direktorat Bina Teknik, Direktorat Jenderal Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, Juli 1999, 90 halaman.

Leps, T.M., 1973, "*Flow Through Rock Fill*", in : *Embankment Dam Engineering Casagrande Volume*, Editors: Hirschfeld, R.C. & Poulos, S.J., A Wiley Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York. London. Sydney, Toronto, halaman 87 - 107.

Sosrodarsono, S. dan Takeda, K. (Editors), 1977, "*Bendungan Type Urugan*", Pradnya Paramita, P.T., Jakarta, Cetakan Kedua oleh: Association for International Technical Promotion, Tokyo, Japan, 327 halaman.

Terzaghi, K. & Peck, R.B., 1967, "*Soil Mechanics in Engineering Practice*", 2nd Edition, A Wiley International Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, London, Sydney, dicetak di AS, 729 halaman.

United States Department of the Interior-Bureau of Reclamation, 1985, "*Earth Manual*" - A Water Resources Technical Publication, 2nd edition, 2nd reprint, US. Department of The Interior - Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, US. Government Printing Office, 810 halaman.

United States Department of The Interior - Bureau of Reclamation, 1987, *Embankment Dams*, Chapter 5 : **Protective Filters**, Design Standards No.13.